

Выводы

Из известных понятий и определений диверсификации производства, организационная особенность горизонтальной диверсификации является наиболее приемлемой для металлообрабатывающих предприятий различных областей машиностроения. В основе организационных рекомендаций при диверсификации предприятий необходимо учитывать экспериментально-аналитическую методику, отображающую практические результаты технологии изготовления деталей в условиях конкретных производств, и разработанные методы экономического обоснования состава оборудования.

Общим случаем горизонтальной диверсификации производства является форма перевода организации массового производства на изготовление аналогичной продукции предприятия существенно заниженного потребительского спроса. На основе

известных аналитических описаний производительности работы технологического оборудования в условиях массового производства необходимо определить границы, при которых дальнейшее использование АЛ становится нерентабельным. С этой целью предложена методика, состоящая из последовательного рассмотрения влияния различных форм потерь на характеристику проектного варианта АЛ, и характер снижения коэффициента $\eta(d)$, влияющего на работоспособность АЛ после снижения потребительского спроса на изделие предприятия массового производства.

Список литературы

1. Аверьянова И. О. Сравнительный анализ технологии изготовления продукции при диверсификации производства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 4. Ч. 1. — Тула, 2010. — С. 131—137.
2. Волчкевич Л. И. Автоматизация производственных процессов: Учебное пособие. — М.: Машиностроение, 2007. — 380 с.

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

УДК 004.45-621.941

Реализация управления крупногабаритными прецизионными обрабатывающими центрами системой ЧПУ «АксиОМА Контрол»*

д.т.н. Г. М. Мартинов, к.т.н. Н. В. Козак

// МГТУ «Станкин», г. Москва. E-mail: kozak@ncsystems.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности конструкции прецизионного обрабатывающего центра мод. VMG 50 для особо крупных деталей с точки зрения объекта управления. Выявлено влияние специфики крупногабаритных станков на требования к его системе управления. Проиллюстрировано построение специализированной системы ЧПУ на примере прецизионного обрабатывающего центра мод. VMG 50 с использованием базовой управляющей платформы «АксиОМАКонтрол». **Ключевые слова:** система ЧПУ, крупногабаритные обрабатывающие центры, многокоординатная обработка, многотерминальное управление, интерфейс ЧПУ — ПЛК, ПЛК (программируемый логический контроллер).

Abstract. Considered design features precision machining center VMG 50 for large parts from the point of view of the control object.

* Работа выполнена в рамках программы государственной поддержки ведущих научных школ: НШ-3890.2014.9 и при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности и по договору № 14.124.13.6495-МК об условиях использования гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых.

The influence of the specificity of the large machine on the requirements for the system *napravlennyami investirovaniya* build specialized CNC system on the example of the precision machining center VMG 50 using batouala platform «Axiomatical». **Keywords:** CNC, large machining centers, multi-axis machining, MultiTerminal management, interface CNC — PLC, PLC (programmable logic controller).

Краснодарский станкостроительный завод «Седин» специализируется на производстве станков для прецизионной токарной, фрезерной, расточной и абразивной обработок крупногабаритных изделий из черных, цветных металлов и других материалов в условиях индивидуального и серийного производства. Эти станки должны удовлетворять потребностям конкурентного рынка, обеспечивать качественную обработку с заданной точностью и высокой производительностью. Ключевая особенность обрабатывающих центров для крупногаба-

ритных изделий — достижение максимальной концентрации выполняемых операций с минимальным числом переустановок заготовки [1 и 2].

Крупногабаритный токарно-фрезерный обрабатывающий центр мод. VMG 50 создан в рамках проекта «Макроцентр» ФЦП (подпрограммы «Национальная технологическая база») и оснащен специализированной отечественной системой ЧПУ, построенной на основе базовой управляющей платформы «АксиОМА Контрол» (разработка МГТУ «СТАНКИН» [3]).

Зарубежными аналогами станка являются крупногабаритные обрабатывающие центры серий UniMill (PietroCarnaghi, Италия) и PowerTec (WaldrichCoburg, Германия). Как правило, на этих станках устанавливают комплектные системы управления SINUMERIK 840 D SolutionLine (Siemens, Германия).

Отличительные особенности станков серии VMG — расширенные функции средств контроля качества обработки; средств видеонаблюдения зоны резания; использование накопителей режущих инструментов (РИ) и инструментальных головок большой емкости; использование сменных инструментальных головок с управляемыми рабочими движениями по разным осям; револьверного шестипозиционного резцедержателя; инструментальных головок для нарезания и шлифования зубчатых колес; использование высокоскоростного шпинделя.

Также имеется опция использования автоматизированной палетной системы для планшайб. Следует отметить необходимость «горячего подключения» дополнительной интерполируемой оси при установке инструментальных головок [4]. Все перечисленные функции определяют набор предъявляемых требований к системе ЧПУ.

Архитектурное решение и конструктивные особенности обрабатывающего центра. Гамма обрабатывающих центров серии VMG ориентирована на использование унифицированных модулей и компоновку станков на их базе, что позволяет создавать станок под конкретные требования заказчика. Конструкция станка предполагает использование горизонтально-расточного суппорта, измерительного портала, второго суппорта и его специализированных типов (токарного, комбинированного, расточного, шлифовального и др.), цепных и барабанных магазинов инструментов, различных модификаций планшайб и фрезерных столов [5]. Необходимость концентрации на одном

станке широкого набора функций металлообработки, измерительного контроля и диагностики работы его модулей предъявляет повышенные требования к системе управления [6 и 7].

Базовая комплектация обрабатывающего центра мод. VMG 50 имеет портал с рабочей зоной перемещения по направляющим 14 м для обслуживания токарного и фрезерного столов. Диаметр заготовки на планшайбе составляет 5 м. Электрошкаф системы управления разделен на две автономные части, первая из которых размещена на фундаменте станка, вторая находится на портале в непосредственной близости к исполнительным устройствам.

Реализация предложенной схемы позволила сократить длину силовых кабелей и информационно объединить оба электрошкафа по сети SERCOS. Оператор осуществляет управление станком с одного или двух терминалов или с выносного пульта. Кабина оператора с терминалом управления и выносным пультом оснащена подъемным механизмом и расположена на портале, что дает возможность контролировать токарную или фрезерную обработку в непосредственной близости от планшайбы или фрезерного стола.

Одно из ключевых требований при построении системы ЧПУ для управления крупногабаритными обрабатывающими центрами серии VMG — открытость системы управления. Импортные системы управления не могут предоставить достаточный уровень открытости для внедрения специфичных станку алгоритмов управления и интеграции специализированных (сторонних для ЧПУ) подсистем программно-аппаратных средств станкостроителя [8 и 9].

В конструкции станка перемещения портала по оси Y осуществляют четыре привода — по два на каждой направляющей с противоположных сторон (рис. 1), что обеспечивает жесткость конструкции и снижает возможные погрешности от механических передач, деформаций и т. п. Задача управления системы ЧПУ состоит в их жесткой синхронизации по схеме master — slave (ведущий — ведомый) и отслеживании величины рассогласования во избежание перекосов портала. Задачи синхронизации управления двумя приводами также реализуются для установочных перемещений поперечины (ось W) и для вращения планшайбы [ось C ($S1$)].

Многотерминальное управление крупногабаритными станками. Архитектура системы ЧПУ (рис. 2)

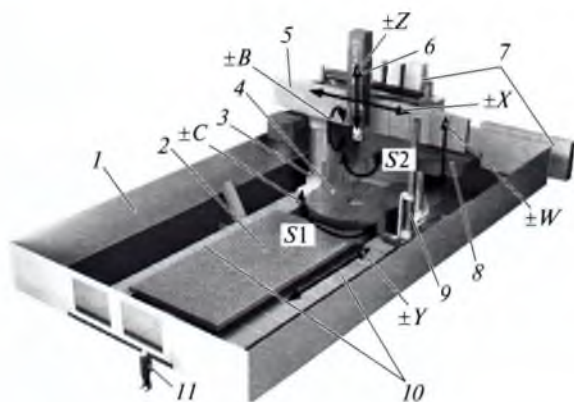


Рис. 1. Эскиз станка мод. VMG 50 в масштабе с оператором 11: 1 — ограждение; 2 — стол фрезерной обработки (4,5 × 9 × 3) м; 3 — портал; 4 — стол токарной обработки (диаметр и высота 5 и 3 м); 5 — поперечина портала; 6 — каретка; 7 — шкафы системы управления; 8 — механизм смены инструмента; 9 — терминал оператора с терминалом и выносным пультом; 10 — направляющие портала

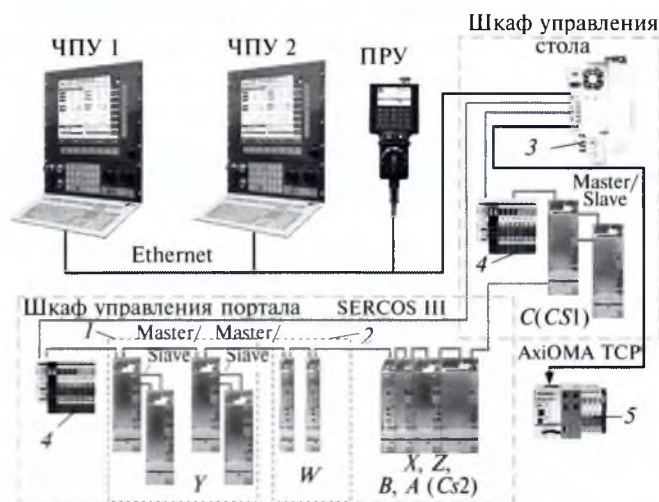


Рис. 2. Структура модулей системы ЧПУ «АксиОМА Контроль» для станка мод. VMG 50: ПРУ — пульт ручного управления, 1 и 2 — порталы, 3 — ядро ЧПУ, 4 — баскаплер, 5 — контроллер автономного оборудования станка

включает в себя ядро, работающее в операционной системе Linux RT, с платой управления SERCANS, которая является ведущей [мастером (master)], для основной SERCOS-сети. Оси C и Y имеют свои SERCOS-подсети, построенные по принципу master-slave для управления ведомыми приводами. Перенос части задачи по управлению ведомых приводов на интеллектуальные контроллеры ведущих приводов позволило высвободить вычислительные возможности системы ЧПУ.

Конфигурирование подсетей реального времени осуществляется с помощью машинных пара-

метров в системе ЧПУ. Синхронизация приводов осей Y и W порталов 1 и 2 реализуется ядром 3 системы ЧПУ. Пассивные входы и выходы электроавтоматики подключаются через баскаплер (bus-coupler) 4 по протоколу SERCOSIII для работы со встроенным в систему ЧПУ, программно реализованным логическим контроллером Soft-PLC [10]. Модули баскаплеров с набором входов и выходов встроены в каждый шкаф электроавтоматики и подключены к основной SERCOS-сети.

SERCOSIII — это открытый промышленный протокол реального времени, являющийся международным стандартом для систем управления движением и модулей ввода-вывода. В проекте реализовано соединение по избыточной кольцевой топологии сети [11], что обеспечивает работу при разрыве или поломке одного из устройств в кольце. Цикл SERCOS-такта для управления приводами и входов (выходов) основной сети составляет 1 мс; при необходимости с помощью настройки машинных параметров системы ЧПУ он может быть снижен до 250 мкс.

Сервоприводы BoschRexroth модификации «Advanced» реализуют встроенную функцию управления спаренными двигателями. Использование этой функции сервоприводов для осей Y (два привода на каждой стороне портала) и оси C (для замыкания контура управления подчиненным приводом) повышает надежность распределенной системы управления и высвобождает вычислительные ресурсы системы ЧПУ. Напротив, для управления порталными осями W и Y замыкание контура управления двух двигателей происходит в ядре системы ЧПУ, поскольку нужна возможность их независимого управления при реферировании портала от перекосов.

Две панели оператора и переносной пульт подключены через промышленный хаб (hub) к ядру системы ЧПУ по сети Ethernet. Ядро системы ЧПУ воспринимает управляющие команды только с активной панели управления, для чего реализован специальный механизм передачи управления между панелями и пультом ручного управления (ПРУ).

Многотерминальное соединение различных устройств визуализации и ввода (вывода) пользовательских данных с системой управления активно применяют в современных системах ЧПУ. Например, для этой цели фирма Siemens использует специальные интерфейсные модули MPI (multipoint-interface) для соединения между сервером данных (ядром системы управления) и клиентами.

Эти модули имеют аппаратную реализацию и должны находиться в каждом устройстве для установки сетевой связи. Интерфейс MPI позволяет объединять до 32 сетевых узлов, в качестве которых могут использоваться программаторы, контроллеры, терминалы оператора, выносные пульта и другие приборы и системы человеко-машинного интерфейса.

Платформа «АксиОМА Контрол» позволяет организовывать сетевой и удаленный доступ к функциям системы ЧПУ [12]. Во внутренней сети станка, цеха или производства, возможно прямое подключение по локальной сети до восьми клиентов. Клиентами являются терминалы управления, пульт ручного управления, мобильные клиенты; при этом доступ к функциям управления ЧПУ разграничивается [13].

В локальной сети станка мод. VMG 50 клиентами ядра системы ЧПУ являются два терминала и специализированный пульт ручного управления. На аппаратном уровне терминалы оператора, пульт и ядро ЧПУ соединяют между собой с помощью промышленного сетевого концентратора по сети Ethernet. Активность того или иного клиента управления контролируют специально разработанным механизмом в ядре системы [14].

Компонент многотерминального управления ядра системы ЧПУ имеет информацию о подключенных клиентах и их конфигурации. Несколько клиентов ядра (панель оператора и станочная панель) могут быть объединены в терминал управления. Запросы на активацию или отключение клиентов обрабатывают в ядре системы на основе данных их текущего состояния, также запросы о возможности активации клиентов обрабатывают в управляющей программе ПЛК.

Выносной пульт ручного управления потребовал разработки специального решения для этого проекта. На станке мод. VMG 50 пульт используется оператором при отладке или привязке РИ, когда требуется мобильность. Набор заложенных функций предусматривает: управление осями станка (до семи) от кнопок и электронного маховика; переключение режимов работы шпинделя; коррекцию подачи; выбор дискрет перемещения и др. (рис. 3). Пульт имеет защиту IP65, использует полностью отечественные компоненты и операционную систему Linux, версия для архитектуры процессоров ARM.

Реализации специализированных вспомогательных функций станка. Модификация обрабатыва-



Рис. 3. Специализированный пульт ручного управления для станка мод. VMG 50: 1 — соединительный разъем; 2 — система отсчета (заготовка/станок); 3 — выбор направления перемещения оси в «плюс» или «в минус»; 4 — пуск шпинделя по и против часовой стрелки; 5 — клавиши выбора активной оси; 6 — активизация пульта управления; 7 — ускоренные перемещения (наложенный быстрый ход); 8 — кнопка аварийного останова; 9 — экран оператора; 10 — клавиши выбора инкремента (1, 10, 100); 11 — клавиша толчкового вращения шпинделя; 12 — клавиша выбора режима маховичка; 13 — корректор величины подачи осей; 14 — кнопка подтверждения включения пульта; 15 — переключатель работы с пультом; 16 — электронный «маховичок»

ющего центра требует изменения набора станочных М-функций, выполняемых системой ЧПУ для управления периферийными устройствами электроавтоматики (такими как гидравлические тормозы осей, индексные зажимы, управление гидростатикой осей станка и др.). Платформа «АксиОМА Контрол» предоставляет инструментарий для конфигурирования набора пользовательских М-функций в коммуникационном интерфейсе ЧПУ-ПЛК.

На схеме (рис. 4) представлена структура данных в формате xsd (XML Schemadefinition — язык описания структуры XML-документа) для описания конфигурации пользовательских М-команд станка.

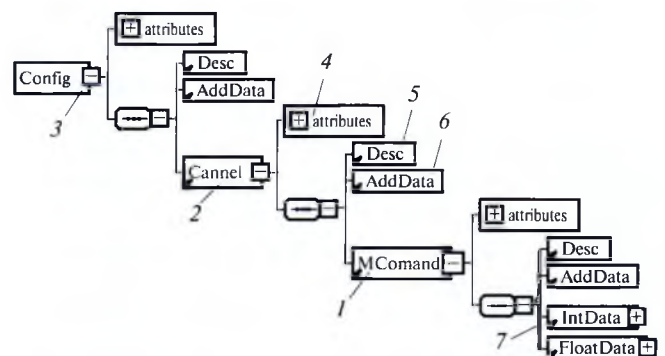


Рис. 4. Структура данных файла конфигурации М-команд для интерфейса ЧПУ-ПЛК: 1, 2 и 3 — соответственно конфигурации М-команды, канала управления для команд и М-команд ЧПУ-ПЛК; 4 — атрибуты с полями данных; 5 — текстовое описание; 6 — массив дополнительных данных; 7 — параметры команды

Основные узлы структуры — конфигурация (Config), канал (Channel) и М-команда (MCommand). Конфигурация описывает набор каналов системы управления. Каждый канал содержит данные о заложенных в нем М-командах. Данные М-команд (MCommand) описываются атрибутами (attributes) и дочерними узлами параметров команд (Desc, IntData, FloatData и др.). Подобная структура данных позволяет для М-команд задать параметры выполнения и способ обработки в ПЛК.

Экран редактирования набора М-команд для интерфейса ЧПУ-ПЛК используют для настройки вспомогательных команд системы ЧПУ под конкретные функции станка. Можно производить операции по изменению конфигурации, ее загрузки, сохранения в файл и операции по получению и отправки созданной конфигурации в ядро системы ЧПУ (рис. 5).

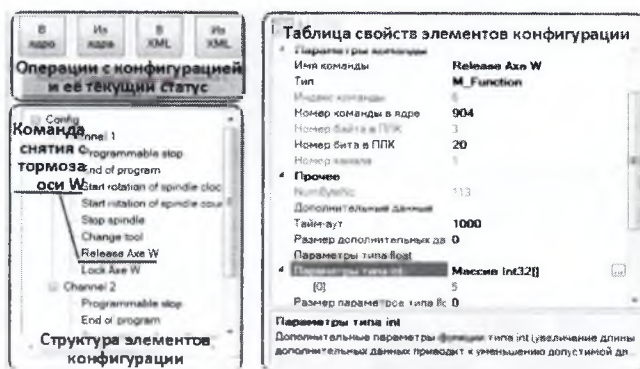


Рис. 5. Диалог настройки редактирования команды снятия гидротормозов оси W для интерфейса ЧПУ-ПЛК

В качестве примера приведена команда M904 — снятие гидравлических тормозов оси W. С правой стороны в таблице параметров команды указывают номер команды для системы ЧПУ, номер бита в таблице данных М-команд на стороне ПЛК, таймаут выполнения, а также набор целочисленных данных для указания индекса оси.

Таким образом, обрабатывающий центр мод. VMG 50 по своему габариту и особенностям кинематики следует отнести к станкам с нестандартной конструкцией, подобные станки предъявляют повышенные требования к системе ЧПУ. Модульная компоновка и возможность наращивания функций станка (например, использование расточной стойки) обеспечивают открытость и масштабируемость системы управления.

Применение отечественной платформы «АксиОМА Контроль» для построения системы управления обрабатывающим центром — ключевой фактор обеспечения технологической независимости машиностроения.

Система управления станком использует специализированные программные модули для реализации функций многокоординатной обработки, многотерминального управления, построения коммуникационного канала связи с внешним ПЛК, и предоставляет возможность расширять набор специализированных функций под потребности конечных пользователей.

Инструментарий конфигурирования пользовательских М-команд обеспечивает быструю настройку конкретного набора вспомогательных функций станка для управления специализированным (гидростанции, уборка стружки, гидротормоза осей станка, смазка направляющих и др.) электрооборудованием.

Список литературы

1. Принципы построения распределенной системы ЧПУ технологических машинами с использованием открытой модульной архитектуры / Г. М. Мартинов, Л. И. Мартинова, Н. В. Козак и др. // Справочник. Инженерный журнал с приложением. — 2011. — № 12. — С. 45–51.
2. Martinov G. M., Obuhov A. I., Martinova L. I., Grigoriev A. S. An Approach to Building Specialized CNC Systems for Non-traditional Processes // 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC2014: Procedia CIRP. — 2014. — Vol. 14. — P. 511–516.
3. Метод декомпозиции и синтеза современных систем с ЧПУ / Г. М. Мартинов, Н. В. Козак, Р. А. Нежметдинов и др. // Автоматизация в промышленности. — 2013. — № 5. — С. 8–14.
4. Г. М. Мартинов, Н. В. Козак, Р. А. Абдуллаев, И. А. Ковалев. Построение специализированной распределенной системы управления прецизионным обрабатывающим центром VMG 50 // Автоматизация в промышленности. — 2014. — № 6. — С. 16–20.
5. Многоцелевые вертикальные обрабатывающие центры. Серия VMG (L,F) <http://stankozavodsedin.ru/VMG.html>.
6. Grigoriev S. N., Martinov G. M. Research and Development of a Cross-platform CNC Kernel for Multi-axis Machine Tool // 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC2014: Procedia CIRP. — 2014. — Vol. 14. — P. 517–522.
7. Martinov G. M., Ljubimov A. B., Grigoriev A. S., Martinova L. I. Multifunction numerical control solution for hybrid mechanic and laser machine tool // Procedia CIRP. — 2012. — P. 277–281.
8. Martinov G. M., Grigor'ev A. S. Diagnostics of cutting tools and prediction of their life in numerically controlled systems // Russian Engineering Research. — 2013. — Т. 33. — № 7. — С. 433–437.
9. Nezhmetdinov R. A., Sokolov S. V., Obukhov A. I., Grigor'ev A. S. Extending the functional capabilities of NC systems for control over mechano-laser processing // Automation and Remote Control. — May 2014. — Vol. 75. — I. 5. — P. 945–952.
10. Grigoriev S. N., Martinov G. M. Decentralized CNC automation system for large machine tools // Proc. of COMA 13: International Conference on Competitive Manufacturing. — Stellenbosch (South Africa). 2013. — ISBN 978-0-7972-1405-7. — P. 295–300.

11. **Сосонкин В. Л., Мартинов Г. М.** Архитектура цифровых следящих приводов подачи технологических машин // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2005. — № 10. — С. 24—30.

12. **Martinov G. M., Martinova L. I.** Trends in the numerical control of machine-tool systems // Russian Engineering Research. — 2010. — Т. 30. — № 10. — P. 1041—1045.

13. **Martinova L. I., Pushkov R. L., Kozak N. V., Trofimov E. S.** Solution to the problems of axle synchronization and exact positioning in a numerical control system // Automation and Remote Control. — 2014, Vol. 75. — I. 1. — P. 129—138.

14. **Martinova L. I., Grigoryev A. S., Sokolov S. V.** Diagnostics and forecasting of cutting tool wear at cnc machines // Automation and Remote Control. — 2012. — Т. 73. — № 4. — P. 742—749.

УДК 621.941

Исследование виброустойчивости металлорежущих станков с измененными условиями трения в направляющих скольжения

к.т.н. Р. Ш. Халимов

// Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П. А. Столыпина, г. Ульяновск. E-mail: hrasp29@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена технология электромеханического упрочнения с образованием регулярного рельефа поверхностей направляющих станины токарных станков. **Ключевые слова:** металлорежущий станок, виброустойчивость, трение.

Abstract. The technology Electromechanical hardening with the formation of a regular relief surfaces directing bed lathes. **Keywords:** metal-cutting machine, vibration resistance, friction.

С течением времени узлы и детали металлорежущих станков (МС), влияющие на точность обработки заготовок, изнашиваются. Этот износ характерен и для устаревших (морально и физически) станков, долгое время интенсивно работавших. Износостойкость — важный показатель виброустойчивости, технологической надежности и долговечности МС; интенсивность изнашивания пар трения зависит от внешних факторов и свойств поверхностных слоев сопряженных деталей.

Применение упрочняющих технологий обработки заготовок деталей (наряду с улучшением их конструкции) — один из наиболее приемлемых путей увеличения долговечности и надежности МС как при производстве, так и при их ремонте. Один из таких способов — электромеханическое упрочнение с получением регулярного рельефа (РР) [1—6].

Инструментальный ролик [3], контактирующий с горизонтальной поверхностью направляющей (с усилием 20—50 Н) и перемещаемый параллельно V-образным направляющим от коробки подачи МС со скоростью 0,8—1,5 м/мин, в конце каждого хода смещается в поперечном направлении на 4 мм. На ролик подают электрический ток, при этом вторым электродом служит сама обрабатываемая заготовка. В зоне контакта заготовки и ролика протекает электрический ток силой 800 А, который мгновенно разогревает локальные участки поверхностного слоя заготовки, адекватные профилю рабочей поверхности ролика. Поверхностный слой

материала заготовки одновременно разогревается и пластически деформируется, а затем интенсивно охлаждается при отводе теплоты вглубь станины, упрочняется и приобретает РР.

Описанная технология обеспечивает не только РР поверхности направляющих, но и благоприятную структуру поверхностного слоя, что повышает износостойкость пар трения путем удержания смазки.

Проведена серия испытаний, показавших целесообразность и эффективность применения предлагаемой технологии упрочнения при возможности выбрать и назначить режимы упрочнения деталей, например, станин МС [2 и 6]. Можно отметить следующие преимущества новой технологии: увеличение износостойкости деталей в 1,5—2 раза; более чем двухкратное повышение поверхностной твердости; снижение коэффициента трения поверхностей направляющих по сравнению с неупрочненными направляющими. При этом отсутствуют недостатки, свойственные упрочнению с помощью токов высокой частоты [например, коробление и узкая специализация применяемого оборудования и инструмента (индуктора)].

Оборудование и технологическую оснастку операций электромеханической обработки можно применять как для упрочнения, так и для восстановления деталей различного профиля, размеров и назначений, что обеспечивает широкую область ее эффективного применения как на крупных станкостроительных заводах, так и в ремонтных мастерских предприятий мелкого и среднего бизнеса.

В качестве примера приведены результаты экспериментальных исследований динамических характеристик токарного станка мод. УТ-16 с упрочненными по предлагаемой технологии [6] и неуп-